

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Zahradní houpačka

Garden swing

Student:

David Kolník

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tadeáš Szlachta, Ph.D.

Ostrava 2011

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....23.05.2011.....

David Kalen
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35-užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60-školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská. Technická univerzita Ostrava, (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce budou zveřejněny v informačním systému VŠB- TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo-bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 23.05.2011

David Kolník

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: David Kolník

Adresa trvalého pobytu autora práce: Sušilova 3101/78, Hodonín, 69501

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kolník, D. Zahradní houpačka: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta Strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2011, 38 s. Vedoucí práce: Szlachta, T.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem zahradní houpačky pro tři osoby. První část práce obsahuje rozdělení možných řešení a typů konstrukce. Z této části je vybráno jedno řešení, které je dále zpracováno detailněji. V práci jsou uvedeny potřebné výpočty a kontrola stěžejních částí konstrukce. Konkrétně jsou to: návrh a výpočet nosné konstrukce, výpočet tažné pružiny, kontrola svaru závěsu, kontrola otlačení v otvoru pro pružinu, kontrola stability proti převrácení a kontrola na vzpěr. Součástí práce je výkres sestavy houpačky a výrobní výkres pružiny.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Kolník, D. Garden swing: bachelor thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava. Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2011, 38 p. Thesis head: Szlachta, T.

This thesis deals with design of garden swing for three people. The first part includes the distribution of possible design solutions and types. From this section a solution is chosen, which is further elaborated in detail. The paper presents the necessary calculations and control of key parts of the structure. Specifically they are: the design and calculation of the structure, the calculation of tension spring, verification of weld coupling, verification of bruised in the hole for the spring, stability against overturning and control the buckling. An assembly of swing and a production drawing of spring are attached as a part of thesis.

Obsah

	Seznam použitých značek a symbolů.....	7
1.	Úvod.....	10
2.	Průzkum trhu.....	11
3.	Volba hlavních částí konstrukce.....	15
3.1	Volba materiálu hlavních částí konstrukce.....	15
3.2	Volba typu uchycení lavice k nosné konstrukci.....	16
3.3	Volba typu spojení jednotlivých částí konstrukce.....	16
3.4	Volba stínítka.....	16
4.	Návrh a výpočet.....	18
4.1	Výpočet sil působících na nosnou část konstrukce a její návrh.....	18
4.2	Kontrola svaru závěsu.....	25
4.3	Kontrola otláčení v otvoru pro pružinu.....	26
4.4	Výpočet tažné pružiny dle ČSN 026001.....	27
4.5	Kontrola houpačky proti převrácení.....	30
4.6	Kontrola na vzpěr.....	31
5.	Závěr.....	35
6.	Seznam použité literatury.....	36
7.	Přílohy.....	38

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

D	Vnější průměr trubky	mm
E	Modul pružnosti v tahu	MPa
E_p	Polohová energie	MPa
E_k	Pohybová energie	MPa
F	Síla zatěžující závěs	N
F_o	Síla odstředivá	N
F_G	Tíhová síla lidí a lavice houpačky	N
F_{Gc}	Tíhová síla celé konstrukce	N
F_{kr}	Kritická síla dle Eulera	N
F_{max}	Maximální síla v závěsu	N
F_T	Síla v závěsu za klidu	N
F_{Tp}	Síla v závěsu za pohybu, při průchodu rovnovážnou polohou	N
F_N	Síla odstředivá, při vychýlení o úhel α	N
F_Z	Síly v závěsech za klidu	N
J	Kvadratický moment plochy	mm ⁴
L	Délka podpěry	mm
L_{red}	Redukovaná délka podpěry	mm
M	Ohybový moment	N.m
M_k	Klopný moment	N.m
M_s	Stabilizující moment	N.m
$R_{0,1}$	Reakce v podporách	N
Re	Mez pevnosti v tahu	MPa

R _m	Mez kluzu v tahu	MPa
S	Plocha průřezu	mm ²
S _p	Průmět stykové plochy do roviny kolmé ke směru síly zatěžující závěs	mm ²
S _{I,II}	Síly v podpěrách	N
T	Těžiště	-
W	Průřezový modul v ohybu	mm ³
a	Nosný průřez svaru	mm
b	Vodorovná vzdálenost těžiště od bodu R	mm
c	Vzdálenost lavice od bodu R	mm
d	Průměr otvoru pro pružinu	mm
g	Gravitační zrychlení	m/s ²
h	Výškový rozdíl lavice houpačky při vychýlení o úhel α	mm
i _{min}	Minimální poloměr štíhlosti	mm
k	Součinitel bezpečnosti	-
l	Délka svaru	mm
m	Hmotnost jedné osoby	kg
m _c	Celková hmotnost lavice a osob	kg
m _l	Hmotnost lavice	kg
n	Počet stupňů volnosti	-
p	Tlak v závěsu	MPa
p _{Dov}	Dovolený tlak v závěsu	MPa
q	Spojité zatížení	N/m
r	Délka ramen houpačky	mm
t	Tloušťka stěny trubky	mm
v	Rychlost	m/s

$x_{1,2}$	Vzdálenost závěsů od podpěry	mm
y	Průhyb hlavního nosníku	mm
α	Maximální úhel vychýlení houpačky	°
β	Úhel rozevření podpěr	°
λ_m	Mezní štíhlost	-
λ_{sk}	Skutečná mezní štíhlost	-
ρ	Hustota materiálu	kg/m ³
σ	Modul pružnosti ve smyku	MPa
σ_o	Napětí v ohybu	MPa
σ_{oDov}	Dovolené napětí v ohybu	MPa
σ_u	Napětí na mezi úměrnosti	MPa
τ_{Dm}	Dovolené napětí v krutu	MPa
τ_{\perp}	Napětí ve svaru	MPa
φ	Natočení nosníku	°

1. ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je návrh zahradní houpačky pro tři osoby. S houpačkami se setkáváme na různých místech. Například na veřejném hřišti, na pouti, doma na zahradě, ale dokonce i v cirkuse, kde ji artisté využívají ke svým vystoupením.

Houpačka je v češtině společný název pro dvě skupiny zábavných zařízení:

- **páková houpačka** (anglicky *seesaw*); jedná se o vodorovnou tyč, která je uprostřed podepřena a na koncích má sedátka, a je určena pro dvě osoby sedící naproti sobě
- **visutá houpačka** (anglicky *swing*); jednodušší typy mají podobu sedátka zavěšeného na provazech nebo řetězech, používá se i zavěšení na tyčích, náročnější provedení mohou být zavěšena pomocí hřídelového složení, které může umožňovat i přetočení horní polohou.

Existují i klecové visuté houpačky pro více osob, které bývají vybaveny protizávažím a jsou tedy kombinací visuté a pákové houpačky.[6]

Cíle bakalářské práce:

- navrhnout bezpečnou zahradní houpačku pro tři osoby
- provést přehled možných řešení, výběr varianty, zdůvodnění
- nakreslit sestavný a výrobní výkres

2. PRŮZKUM TRHU

Zábavný průmysl disponuje velkým množstvím houpaček od jednoduchých pro jednu osobu, které se dají zavěsit na jednoduchou konstrukci nebo na strom (obr. 2.1). Až po atrakce využívající např. hydraulických zařízení, u kterých je třeba odborné obsluhy (obr. 2.2).



Obr. 2.1 Prkénková houpačka [8]



Obr. 2.2 Extrémní houpačka v zábavním parku Valleyfair v Minnesotě [9]

V této práci mám za úkol navrhnout houpačku, která bude sloužit k relaxaci více osob najednou. Typů těchto houpaček je na trhu velká škála. Jsou z různých materiálů a odlišné konstrukce.

Informace o podobných výrobcích jsem čerpal z internetu a z prohlídky obchodů, kde jsem měl možnost si některé typy vyzkoušet.

Rozdělení dle materiálu:

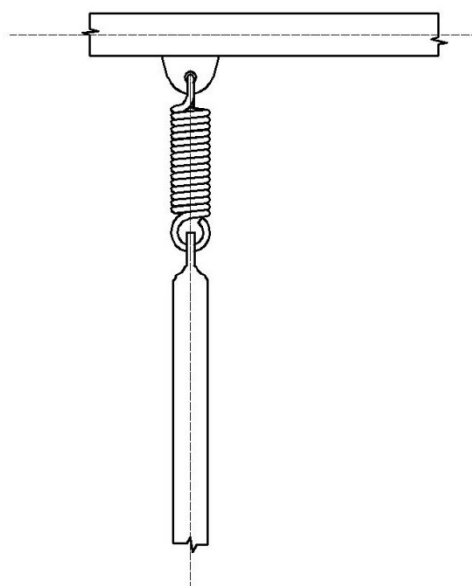
- kovová houpačka
- dřevěná houpačka
- kombinace dřevo-kov



Obr. 2.3 Dřevěná a kovová houpačka pro tři osoby [10]

Rozdělení dle typu uchycení lavice k nosné konstrukci:

- pomocí tažné pružiny
- pomocí řetězu
- pomocí lana



Obr. 2.4 Schéma uchycení lavice pomocí tažné pružiny



Obr. 2.5 Uchycení lavice pomocí řetězu [11]



Obr. 2.6 Dřevěná lavice houpačky uchycená pomocí lan [12]

Rozdělení podle rozebíratelnosti konstrukce:

U kovových houpaček: - svařovaná

- šroubovaná

U spojování dřeva se rozlišují tři různé způsoby spojování součástí: materiálový styk (např. lepení, klížení), silový styk (např. šroubování, přitloukání hřebíky, klínování) a tvarový styk (např. drážkování, kolíky, zuby).

Dřevěné díly lze spojovat rozebíratelně nebo nerozebíratelně. U rozebíratelných spojení jsou jednotlivé prvky spojeny vhodnými spojovacími díly. Nerozebíratelná spojení vznikají přidáním kliču a lze je - pokud se v průběhu času neuvolnily samy - uvolnit pouze jejich zničením.

Součásti dřevěné konstrukce houpaček jsou převážně spojovány šrouby, ale některé části mohou být lepeny nebo klíženy (např. lavice na obr. 2.6).

3. VOLBA HLAVNÍCH ČÁSTÍ KONSTRUKCE

V této kapitole se budu zabývat výhodami a nevýhodami možných řešení a volbou vhodných součástí zahradní houpačky.

3.1 Volba materiálu hlavních částí houpačky

Vzhledem k tomu, že navrhují houpačku pro tři osoby určenou na zahradu, tak budu uvažovat pouze s dřevěnou a kovovou konstrukcí. Na trhu najdeme i houpačky z plastů, ale ty jsou určeny výhradně pro děti předškolního věku.

Výhody dřeva

Je snadno dosažitelné, ekologické, dobře opracovatelné a svým ušlechtilým zjevem láká i k uměleckému zpracování. Má své estetické přednosti.

Nevýhody dřeva

Dřevo se musí chemicky chránit proti dřevokazným houbám, proti dřevokaznému hmyzu a proti povětrnostním vlivům. Na trhu jsou dřevěné houpačky průměrně o 50 % dražší.

Výhody kovů

Poměrně nízká hmotnost oproti dřevěné konstrukci. Houpačka v kovovém provedení bude levnější než dřevěná a také bude snadněji rozebíratelná (při uvažování šroubového spojení). Delší životnost bez nutnosti chemických nátěrů.

Nevýhody kovů

Nevýhodou kovů je jejich oxidace, ne příliš estetický vzhled a také můžou lákat „sběrače“ kovů.

Volím kovovou konstrukci houpačky, která bude levnější a tudíž přístupnější více potenciálním zákazníkům. Nebude třeba ji každý rok chránit drahými nátěry a při přemísťování houpačky, zákazník jistě ocení její nízkou hmotnost.

3.2 Volba typu uchycení lavice k nosné konstrukci

Na trhu jsou k uchycení lavice nejčastěji používány řetězy, lana nebo pružiny. Z výše uvedených možností nejlépe tlumí rázy pružina. Oproti lanu bude mít pružina delší životnost a při srovnání s řetězem bude méně hlučná. Při použití lana nebo řetězu může také docházet k houpání ve více směrech najednou, ale u pružiny k tomu dochází jen minimálně.

Volím uchycení pomocí tažné pružiny.

3.3 Volba typu spojení jednotlivých částí konstrukce

V kapitole 3.1 jsem zvolil jako hlavní materiál kov. Jednotlivé kusy k sobě mohou být buď přišroubovány nebo napevno svařeny. Nerozebiratelných konstrukcí se používá většinou na veřejných hřištích. Pro využití houpačky na zahradě je výhodnější použít šroubovanou konstrukci, kterou můžeme na zimu jednoduše rozložit a schovat aby při nepříznivém počasí, její součásti zbytečně nekorodovaly.

Z těchto důvodů volím nosnou konstrukci šroubovanou.

3.4 Volba stínítka

Houpačku je možno opatřit stínítkem. To může být buď pevně uchyceno (obr. 3.1) nebo může být polohovací (obr. 3.2).



Obr. 3.1 Dřevěná houpačka s pevnou střechou



Obr. 3.2 Kovová houpačka s polohovatelným stínítkem [13]



Obr. 3.3 Houpačka bez stínítka [14]

Volím houpačku bez stínítka, protože jak je vidět na obrázku 3.1 pevná střecha vrhá stín za houpačku a ne vždy tedy plní svoji funkci a polohovatelné stínítko by mohlo při natočení nebo při větším větru zavazet osobám vyšší postavy.

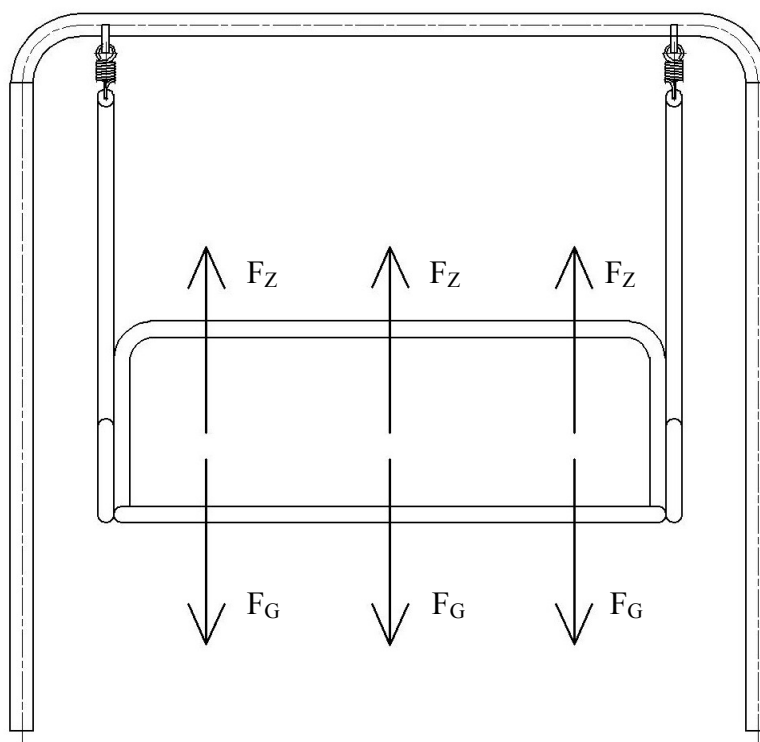
4. NÁVRH A VÝPOČET

V této kapitole se budu zabývat převážně výpočty, ale také návrhem jednotlivých částí houpačky. Při výpočtech budu vycházet z maximální možné hmotnosti osob využívajících toto zařízení.

4.1 Výpočet sil působících na nosnou část konstrukce a její návrh

Počítám s nejhorším možným případem, kdy si na houpačku sednou tři dospělí lidé, každý o hmotnosti 100 kg. V případě, že se sejdou tři lidé s větší hmotností, tak se na houpačku pohodlně nevejdou - omezeno prostorem lavice.

A) Za klidu:



Obr. 4.1 Zatížení lavice za klidu

Za klidu dle obr. 4.1 působí na lavici pouze tíhové síly od hmotnosti osob. Síly v závěsech se pak rovnají tíhovým silám.

$$F_G = \tau_z$$

$$F_G = n \cdot g \quad (4.1)$$

$$F_G = 00 \cdot 9,81 = 981N$$

kde m je hmotnost jedné osoby-100kg.

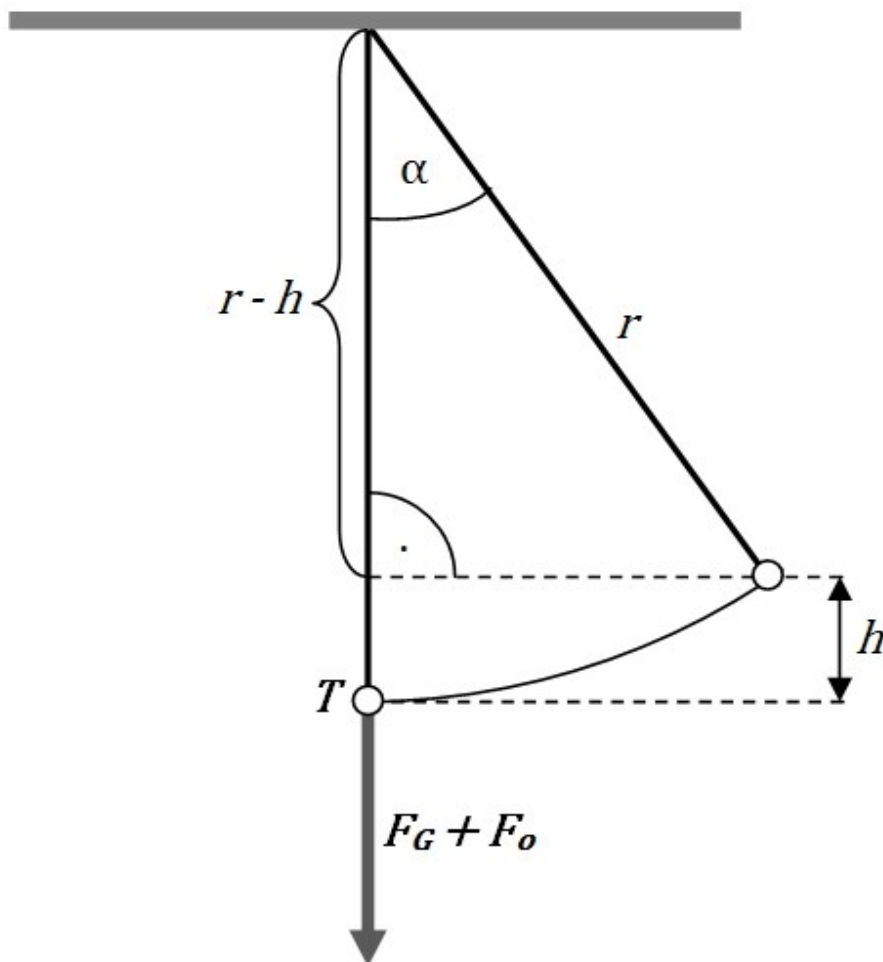
V případě, kdy uvažuju tři osoby a váhu lavice, budou síly zatěžující oba závěsy rovny:

$$F_T = \frac{3 \cdot F_G + m_l \cdot g}{2}$$

$$F_T = \frac{3 \cdot 981 + 10 \cdot 9,81}{2} = 618,65 N \quad (4.2)$$

kde m_l je hmotnost lavice houpačky.

B) Za pohybu:



Obr. 4.2 Síly působící na houpačku za pohybu [15]

Během průchodu rovnovážnou polohou působí na závěsy tíhová a odstředivá síla:

$$F_{Tp} = \frac{F_G + F_o}{2} = \frac{m_c \cdot g + m_c \cdot \frac{v^2}{r}}{2} \quad (4.3)$$

kde r je délka ramen od závěsů k lavici, m_c je celková hmotnost a v je rychlost.

Polohová energie, kterou má houpačka po vychýlení, se rovná pohybové energii při průchodu rovnovážnou polohou:

$$E_p = E_k \quad (4.4)$$

$$m_c \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m_c \cdot v^2 \quad (4.5)$$

Z pravoúhlého trojúhelníku pomocí funkce *cosinus* vypočítám h (viz. obr. 4.2) :

$$\cos \alpha = \frac{r-h}{r} \Rightarrow h = r(1 - \cos \alpha) \quad (4.6)$$

kde α je úhel vychýlení houpačky.

Malým experimentem jsem zjistil, že při vychýlení o více než 60° stupňů už houpání pro většinu osob nebylo příjemné a protože houpačka bude sloužit k relaxaci, tak α volím 60° .

Nyní vyjádřím z rovnice (4.5) rychlost v :

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4.7)$$

Po dosazení h z rovnice (4.6) do rovnice (4.7) dostávám:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot r(1 - \cos \alpha)} \quad (4.8)$$

toto je maximální rychlost, kterou houpačka dosahuje při průchodu rovnovážnou polohou.

Nyní dosadím do rovnice (4.3) rychlost v z rovnice (4.8):

$$F_{Tp} = \frac{m_c \cdot g + m_c \cdot \frac{2 \cdot g \cdot r(1 - \cos \alpha)}{r}}{2}$$

$$F_{Tp} = \frac{m_c \cdot g + m_c \cdot g \cdot (1 - \cos \alpha)}{2} \quad (4.9)$$

$$F_{Tp} = \frac{330 \cdot 9,81 + 330 \cdot 9,81 \cdot (1 - \cos 60^\circ)}{2} = 3237,3N$$

Na každý ze závěsů působí síla o velikosti 3237,3N.

Při houpání působí na houpačku největší síla, když prochází rovnovážnou polohou. S touto silou budu počítat při návrhu nosníku, který je uložen na dvou podporách.

Výpočet nosníku na ohyb:

Výpočet je proveden programem STROJAŘ V-3.0

Zadané hodnoty pro výpočet:

Počet polí nosníku:	1
Délka nosníku:	1650,0 [mm]
Jednotlivá pole nosníku:	
Podpěra	
První pole:	1650,0 [mm]
Podpěra	
Materiálové charakteristiky:	
Materiál:	Ocel tažená
Hustota:	7860,0 [kg/m ³]
Modul pružnosti:	210000,0 [Mpa]

Zatížení nosníku:

Zatížení vlastní hmotností: Ano

První pole:

V tomto poli není spojitě zatížení

Osamělá síla:

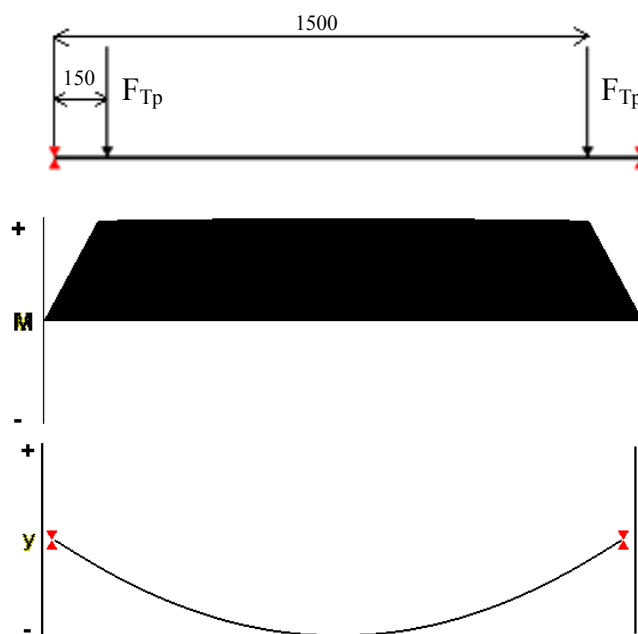
První pole:

$$\begin{aligned} F_{Tp} \text{ [N]} &= 3237.3 \\ x_1 \text{ [mm]} &= 150.0 \\ F_{Tp} \text{ [N]} &= 3237.3 \\ x_2 \text{ [mm]} &= 1500.0 \end{aligned}$$

Vypočítané hodnoty:

Reakce v podporách:

$$\begin{aligned} R_0 \text{ [N]} &= -3237,3 \\ R_1 \text{ [N]} &= -3237,3 \end{aligned}$$



Obr. 4.3 Průběh ohybového momentu a průhyb nosníku

Extrémní hodnoty jednotlivých veličin:

Plocha průřezu S [mm²]

$S = \text{konst.} = 591$

Kvadratický moment plochy J [mm⁴]

$J = \text{konst.} = 164266$

Průřezový modul v ohybu W [mm³]

$W = \text{konst.} = 6442$

Spojité zatížení q [N/m]

$q + \text{extrém} = 45,54$

$q - \text{extrém} = \text{Nemá záporný extrém}$

Ohybový moment M [Nm]

$M + \text{extrém} = 501,58$

$M - \text{extrém} = 0,00$

Natočení nosníku φ [°]

$\varphi + \text{extrém} = 0,01$

$\varphi - \text{extrém} = -0,01$

Průhyb nosníku y [mm]

$y + \text{extrém} = 0,05$

$y - \text{extrém} = -4,83$

Napětí σ_o [Mpa]

$\sigma_o + \text{extrém} = 77,86$

$\sigma_o - \text{extrém} = 0,00$

Výpis je proveden po 50 hodnotách

Tab. 4.1 Výpis hodnot v závislosti na poloze

X [mm]	M [Nm]	y [mm]	φ [°]	σ_o [MPa]
0,0	0,00	0,054	-0,62087	0,00
165,0	491,66	-1,663	-0,54748	76,32
330,0	496,00	-3,045	-0,41212	77,00
495,0	499,10	-4,036	-0,27573	77,48
660,0	500,96	-4,633	-0,13867	77,77
825,0	501,58	-4,834	-0,00126	77,86
990,0	500,96	-4,640	0,13614	77,77
1155,0	499,10	-4,051	0,27320	77,48
1320,0	496,00	-3,067	0,40959	77,00
1485,0	491,66	-1,692	0,54495	76,32
1650,0	0,00	0,017	0,61834	0,00

Výpočet maximálního ohybového momentu M a modul průřezu v ohybu W jsem provedl s pomocí programu Strojář V-0.3.

Volím trubku TR KR 51x4 ČSN 42 5715.

Materiál volím 11 523, protože je vhodný pro trubkové svařované konstrukce.

Tab. 4.2 Hodnoty trubky TR KR 51x4 ČSN 42 5715 [16]

Jmenovité rozměry		Plocha průřezu	Statické hodnoty pro osy ohybu	
D (mm)	t (mm)	S (mm ²)	J (mm ⁴)	W (mm ³)
51	4	591	164266	6442

Tab. 4.3 Vlastnosti oceli 11 523 [3]

Název	Označení	Velikost	Rozměr
Materiál	11 523.0	-	-
Mez kluzu v tahu	R _m	490	MPa
Mez pevnosti v tahu	R _e	355	MPa
Modul pružnosti v tahu	E	210 000	MPa
Napětí na mezi úměrnosti	σ _u	355	MPa

Při výpočtu budu počítat s nejhorším případem. Největší moment dosadím do rovnice pro velikost napětí v ohybu a zjistím jestli zvolená trubka vyhovuje:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{Dov} \quad (4.10)$$

$$\sigma = \frac{501580}{6442} \leq \sigma_{Dov}$$

kde σ_{Dov} je:

$$\sigma_{Dov} = \frac{R_e}{k} \quad (4.11)$$

Tato strana byla zpracována dle literatury [17]

Součinitel bezpečnosti k volím dle A.G. Pugsleyho: Stanovení odpovídajícího koeficientu bezpečnosti je složitá a odpovědná úloha. Vysoký koeficient bezpečnosti vede zpravidla k bezpečnějšímu návrhu za cenu vyšší hmotnosti a tím i vyšší ceny a naopak. Jedná se o základní inženýrský kompromis "cena versus bezpečnost". Profesní organizace často specifikují minimální koeficienty bezpečnosti pro různé systémy, je však plně v odpovědnosti konstruktéra stanovení takového koeficientu bezpečnosti, který by zaručoval odpovídající bezpečnost při zachování přijatelné ceny

Pugsley doporučuje určit celkový koeficient bezpečnosti jako součin dvou koeficientů:

$$k = k_1 \cdot k_2 \quad (4.12)$$

kde :

k_1 je funkcí parametrů A,B,C z tab. 4.4

k_2 je funkcí parametrů D, E z tab. 4.5

Význam parametrů:

- A. Kvalita materiálu, úroveň zpracování, údržba, servisní prohlídky
- B. Kontrola nad možným přetížením
- C. Přesnost analýzy napětí, znalost experimentálních dat nebo zkušenosti s podobnými součástmi
- D. Ohrožení lidí při selhání součásti
- E. Ekonomický dopad při selhání součásti

Tab. 4.4 Parametry A,B,C pro volbu koeficientu k_1 [17]

Parametr A	Parametr C	Parametr B			
		B=1	B=2	B=3	B=4
A=1	C=1	1.10	1.30	1.50	1.70
	C=2	1.20	1.45	1.70	1.95
	C=3	1.30	1.60	1.90	2.20
	C=4	1.40	1.75	2.10	2.45
A=2	C=1	1.30	1.55	1.80	2.05
	C=2	1.45	1.75	2.05	2.35
	C=3	1.60	1.95	2.30	2.65
	C=4	1.75	2.15	2.55	2.95
A=3	C=1	1.50	1.80	2.10	2.40
	C=2	1.70	2.05	2.40	2.75
	C=3	1.90	2.30	2.70	3.10
	C=4	2.10	2.55	3.00	3.45
A=4	C=1	1.70	2.15	2.40	2.75
	C=2	1.95	2.35	2.75	3.15
	C=3	2.20	2.65	3.10	3.55
	C=4	2.45	2.95	3.45	3.95

Kde hodnocení znamená: 1=Velmi dobré; 2=Dobré; 3=Dostatečné; 4=Špatné

Tab. 4.5 Parametry D a E pro volbu koeficientu k2 [17]

Parametr D	Parametr E		
	E=1	E=2	E=3
D=1	1.0	1.0	1.2
D=2	1.2	1.3	1.4
D=3	1.4	1.5	1.6

Kde hodnocení znamená: 1=Minimální; 2=Střední; 3=Velmi vážné

Po určení k1 a k2 dosadím do vzorce 4.12:

$$k = 1 \cdot 1,3 = 1,3$$

Součinitel k volím 4 a ten dosadím do rovnice 4.11:

$$\sigma_{\text{dov}} = \frac{380}{4} = 95 \text{ MPa}$$

Potom podmínka 4.10:

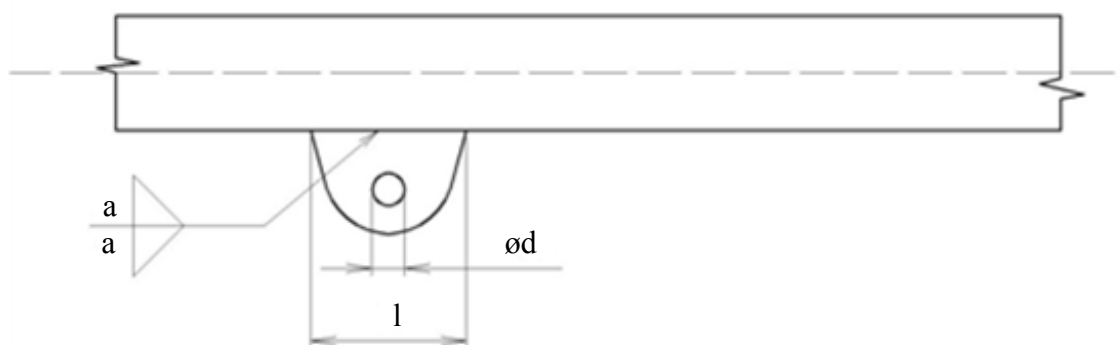
$$\sigma \leq \sigma_{\text{dov}}$$

=> VYHOVUJE

$$77,86 \leq 95 \text{ MPa}$$

4.2 Kontrola svaru závěsu

K hlavnímu nosníku bude závěs přivařen koutovým svarem (obr. 4.4). Materiál volím stejný jako u hlavní konstrukce ocel 11 523.



Obr. 4.4 Svar závěsu

Protože pevnost svarového kovu ve smyku je menší než pevnost v tahu a také proto, aby se výpočet namáhání čelního koutového svaru zjednodušil, předpokládám, že svar je

namáhán pouze na smyk napětím τ_{\perp} . Zanedbání normálního napětí se kompenzuje tím, že se uvažuje, že celá síla F_{Tp} se přenáší smykem, tedy:

$$\tau_{\perp} = \frac{F_{Tp}}{l \cdot a} \leq k_3 \cdot \sigma_{ov}$$

kde $k_3 = 0,75$ dle ČSN 05 0120 [1]

$$\tau_{\perp} = \frac{3237}{60 \cdot 2} \leq 0,75 \cdot \sigma_{ov} \quad (4.13)$$

$$35,96 \leq \sigma_{ov}$$

kde σ_{Dov} pro ocel 11 523 je:

$$\sigma_{ov} = \frac{Re}{k} = \frac{380}{4} = 95 MPa$$

Potom podmínka 4.13:

$$35,96 \leq 95 MPa \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

4.3 Kontrola otláčení v otvoru pro pružinu

Kontrolu otláčení jsem provedl dle podmínky:

$$p = \frac{F_{\max}}{S_p} \leq p_{Dov} \quad (4.14)$$

$$p = \frac{3273}{45} = 72,7 MPa$$

kde $F_{\max} = F_{Tp}$ a S_p je průmět stykové plochy do roviny kolmé ke směru zatěžující síly.

$$p \leq p_{Dov} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$72,7 \leq 100 MPa$$

Dle [1] je dovolený tlak pro ocel $p_{Dov} = 100 MPa$

4.4 Výpočet tažné pružiny dle ČSN 02 6001

Výpočet je proveden programem STROJAŘ V-3.0 (obr.4.6).

Zadané hodnoty pro výpočet:

Síla v předpruženém stavu	150 N
Síla v plně zatíženém stavu	3237,3 N
Délka pružiny v předpruženém stavu	120,0 mm
Délka pružiny v plně zatíženém stavu	150,0 mm
Pracovní zdvih pružiny	30,0 mm
Vnější průměr pružiny	46,450 mm
Typ závěsného oka	Obyčejné oko
Koeficient výšky oka	1,07

Materiálové charakteristiky pružiny (při teplotě 20°C):

Drát žíhaný ze slitinové oceli (průměr do 11,8 mm) na zušlechťované pružiny

Mez pevnosti v tahu R_e	1470,0 Mpa
Dovolené napětí v krutu τ_{Dm}	882,0 MPa
Modul pružnosti ve smyku σ	78500 Mpa
Hustota materiálu ρ	7850 kg/m ³

Výpočet pružin dle ČSN 02 6001

Výpočet Obrázek Zálůžka Tisk Tisk do souboru Přehled symbolů Konec

Tlačná pružina **Tažná pružina** Tažná pružina s předpětím Obrázky

Zadané nebo volené hodnoty

F1 [N]	150.000	D [mm]	46.450	Rm [MPa]	1470.0
F8 [N]	3237.300	D1 [mm]		TauDm [MPa] =	0.60
L0 [mm]		D2 [mm]		Tau8 [MPa] =	0.92
L1 [mm]	120.0	d [mm]		G [MPa]	78500
L8 [mm]	150.0	i [---]		ro [kg/m3]	7850
h [mm]	30.0	Nc [---]		Ko =	1.07
					D2

Drát žíhaný ze slitinové oceli (průměr do 11,8 mm) na zušlechťované pružiny

Typ závěsného oka

☐ Půloko **Nápověda pro oko** ☐ Obvyčejné oko nevstředěné dvojité

☒ Obvyčejné oko ☐ Vmáčkuté oko

☐ Obvyčejné oko dvojité ☐ Bez závěsného oka

☐ Obvyčejné oko nevstředěné

Výsledky

F1 [N]	150.000	L1 [mm]	120.0	D [mm]	46.450
F8 [N]	3237.300	L8 [mm]	150.0	D1 [mm]	54.950
F9 [N]	3609.234	L9 [mm]	153.6	D2 [mm]	37.950
Tau8 vyp. [MPa]	791.1	L0 [mm]	118.5	d vypočítaný [mm]	8.428
Tau8 odh. [MPa]	811.4	Lz [mm]	37.3	d normalizovaný [mm]	8.500
c [N/mm]	102.910	L [mm]	977.9	t [mm]	16.016
Nc [---]	4.97	o [mm]	40.6	i [---]	5.465

Maximální délka na kterou smí být pružina roztáhena **153.6** **VYHOVUJE**

Maximální délka > délka v plně zatíženém stavu

Rozečč činných závitů ve stavu volném by měla být **13.935 až 18.580 mm** **VYHOVUJE**

Koeficient výšky závěsného oka by měl být **1.00 až 1.15 x D2** **VYHOVUJE**

Typ výpočtu

☒ Návrh

☐ Kontrola

Typ materiálu

☒ Skupina materiálů

☐ Konkrétní materiál

Nápověda

Tlačná pružina

Tažná pružina

Taž. s předpětím

Obr. 4.5 Výpočet pružin v programu Strojář V-3.0 [19]

Strojář V 3.0

Geometrické rozměry a síly - viz příslušný obrázek

L - délka drátu pružiny

i - poměr vinutí

c - tuhost pružiny

G - modul pružnosti ve smyku

ro - hustota materiálu pružiny

Rm - mez pevnosti v tahu

TauDm - dovolené napětí v krutu (bývá 0,45 až 0,60 Rm)

Tau8odh - odhadnutá hodnota určená na základě zvoleného poměru Tau8 a TauDm

Tau8vyp - vypočítaná hodnota určená v průběhu výpočtu pružiny z hodnot sil stlačení a materiálových charakteristik

Tau8 - napětí v krutu v plně zatíženém stavu (bývá 0,90 až 0,95 TauDm)

Nc - počet činných závitů pružiny

Ko - koeficient výšky oka

o - výška závěsného oka

OK

Obr. 4.6 Popis značení v obrázku 4.5 [19]

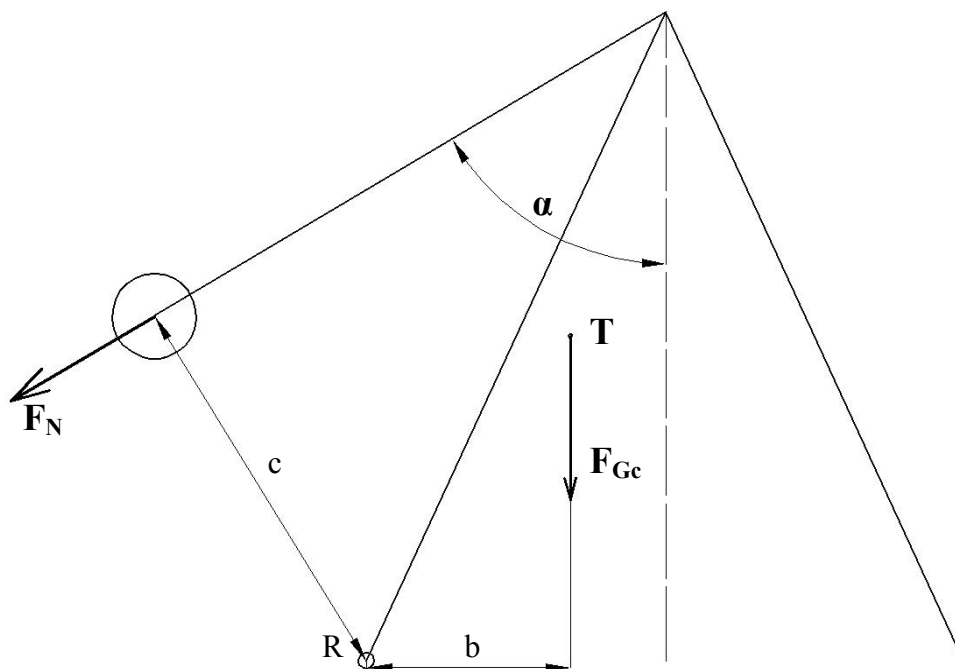
Vypočítané hodnoty:

Síla vyvinutá pružinou v předpruženém stavu	150,000 N
Síla vyvinutá pružinou v plně zatíženém stavu	3237,3.000 N
Síla vyvinutá pružinou v mezním stavu	3609,234 N
Délka pružiny ve volném stavu	118,5 mm
Délka pružiny v předpruženém stavu	120,0 mm
Délka pružiny v plně zatíženém stavu	150,0 mm
Délka pružiny v mezním stavu	153,6 mm
Délka části pružiny tvořené závity ve stavu volném	37,3 mm
Výška závěsného oka	40,6 mm
Střední průměr pružiny	46,450 mm
Vnější průměr pružiny	54,950 mm
Vnitřní průměr pružiny	37,950 mm
Průměr drátu vypočítaný	8,428 mm
Průměr drátu normalizovaný	8.500 mm
Poměr vinutí pružiny	5,465
Rozteč závitů ve volném stavu	16,016 mm
Napětí v krutu ve stavu plně zatíženém	791,1 MPa
Tuhost pružiny	102,91 N/mm
Počet činných závitů	4,97
Délka drátu pružiny	977,90 mm

Maximální délka na kterou smí být pružina roztažena 153.6	=> VYHOVUJE
Rozteč činných závitů ve stavu volném by měla být 13.935 až 18.580 mm	=> VYHOVUJE
Koeficient výšky závěsného oka by měl být 1.00 až 1.15 x D2	=> VYHOVUJE

4.5 Kontrola houpačky proti převrácení

Houpačku budu kontrolovat na převrácení při vychýlení o úhel $\alpha = 60^\circ$.



Obr. 4.7 Působení sil při vychýlení o úhel α

Podmínka proti převrácení kolem bodu R:

$$M_k \leq M_s \quad (4.15)$$

$$F_N \cdot c \leq F_{Gc} \cdot b$$

Kde $b=352\text{mm}$, $c=689\text{mm}$, F_{Gc} je tíhová síla celé konstrukce působící v těžišti T a F_N je:

$$F_N = n_c \cdot g \cdot (3 \cos \alpha + 1 \cos \alpha)$$

$$F_N = 130 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \quad (4.16)$$

$$F_N = 618,65\text{N}$$

Potom podmínka 4.15:

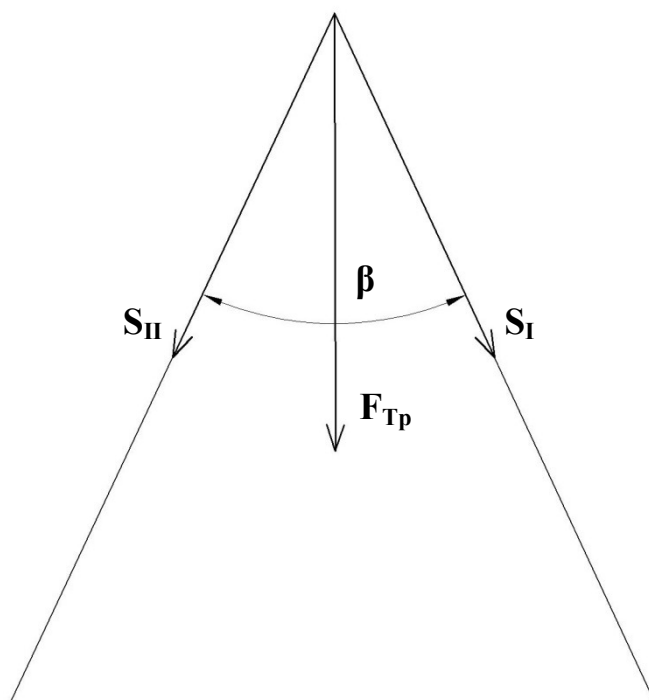
$$F_N \cdot e \leq \tau_{Ge} \cdot b$$

$$1618,65 \cdot 0,689 \leq 1590,5 \cdot 0,352 \quad \Rightarrow \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$1133 Nm \leq 256,8 Nm$$

4.6 Kontrola na vzpěr

Boční pruty, které podpírají hlavní nosník, budu kontrolovat na vzpěr, protože jsou zatíženy tlakem.



Obr. 4.8 Síly v podpěrách

Nejvíce budou pruty I a II zatěžovány při průchodu rovnovážnou polohou. Síly v prutech S_I a S_{II} si budou rovný.

Síla S_I je tedy:

$$S_I = \tau_{Tp} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \quad (4.17)$$

$$S_I = 1237,3 \cdot \cos 25^\circ = 1133,9 \text{ N}$$

kde β je úhel rozevření podpěr.

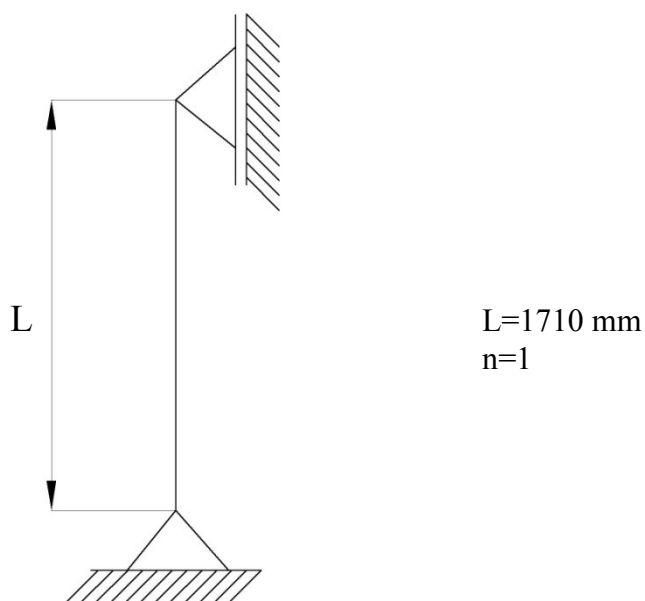
Polotovar a materiál podpěr jsem odvodil od hlavního nosníku:

Volím trubku TR KR 51x4 ČSN 42 5715.

Materiál volím 11 523, protože je vhodný pro trubkové svařované konstrukce.

Tab. 4.6 Hodnoty trubky TR KR 51x4 ČSN 42 5715 [16]

Jmenovité rozměry		Plocha průřezu	Statické hodnoty pro osy ohybu	
D (mm)	t (mm)	S (mm ²)	J (mm ⁴)	W (mm ³)
51	4	591	164266	6442



Obr 4.9 Uložení podpěry pro kontrolu na vzpěr

Minimální poloměr štíhlosti:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{J}{S}} \quad (4.18)$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{164266}{591}} = 6,67 \text{ mm}$$

kde S a J plyne z tabulky 4.6.

Mezní štíhlost:

$$\lambda_m = \pi \cdot n \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_u}} \quad (4.19)$$

$$\lambda_m = \pi \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{210000}{355}} = 76,4$$

kde E a σ_u plyne z tabulky 4.3.

Skutečná mezní štíhlost:

$$\lambda_{\text{red}} = \frac{L_{\text{red}}}{i_{\min}} \quad (4.20)$$

$$\lambda_{\text{red}} = \frac{1710}{16,67} = 102,58$$

kde L_{red} je:

$$L_{\text{red}} = \frac{l}{n} \quad (4.21)$$

$$L_{\text{red}} = \frac{1710}{1} = 1710 \text{ mm}$$

Kritéria pro vzpěr [18]:

$\lambda_m < 30 \Rightarrow$ prostý tlak

$\lambda_m < \lambda_{\text{sk}} \Rightarrow$ dle Euler

$\lambda_m > \lambda_{\text{sk}} \Rightarrow$ dle Tetmajera

Dle 4.19 a 4.20:

$$\lambda_m < \lambda_{\text{sk}}$$

$$76,4 < 102,58 \Rightarrow \text{dle Euler}$$

Kritická síla dle Eulera:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{L_{red}^2} \quad (4.22)$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 164266}{1710^2} = 16432,6 N$$

Z výpočtu vyplývá, že síla S_I působící na podpěru je menší než kritická síla F_{kr} dle Eulera ($2933,9 \text{ N} < 16432,6 \text{ N}$), proto nedojde ke kritickému namáhání podpěry.

5. ZÁVĚR

Výsledkem mojí bakalářské práce je zahradní houpačka pro tři osoby. Zařízení je silně předimenzováno z důvodů bezpečnosti. Výrobci podobných produktů uvádějí maximální úhel vychýlení houpačky 20°, ale já počítal s úhlem vychýlení až 60°.

Celá houpačka je snadno rozebíratelná a tudíž dobře skladná. Pro rozložení není třeba speciálních nástrojů. Celková hmotnost houpačky je 70 kg.

Na celou konstrukci jsem použil výhradně normalizované polotovary. Celá konstrukce je natřena základním antikoročním nátěrem Derogrund [7].

Houpačka je navrhnutá s ohledem na bezpečnost, cenovou dostupnost a jednoduchou montáž.

Všechny cíle bakalářské práce popsané v úvodu byly splněny.

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Květoslav Kaláb: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, části spojovací*, VŠB-TUO, Ostrava 2007, ISBN 978-80-248-1290-8
- [2] Jan Leinveber, Pavel Vávra: *Strojnické tabulky*, Albra, Úvaly 2003, ISBN 80_86490-74-2
- [3] Rudolf Kříž, Josef Trčka: *Tabulky materiálů pro strojírenství I*, MONTANEX, Ostrava 1999, ISBN 80-85780-92-5
- [4] Zdeněk Dejl: *Konstrukce strojů a zařízení I, spojovací části strojů, návrh, výpočet, konstrukce*, MONTANEX a.s., Ostrava 2000, ISBN 80-7225-018-3
- [5] Vladimír Moravec, Jiří Havlík: *Výpočty a konstrukce strojních dílů*, Skripta VŠB-TU Ostrava, 2000, ISBN 80-248-0879-1
- [6] Definice houpačky. Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Houpačka>
(citováno březen 10, 2011)
- [7] Nátěrové hmoty. Dostupné z WWW:
<http://www.derisol.cz/produkty/alkydove/zakladni-natery/derogrund.html>
(citováno květen 05, 2011)
- [8] Houpačky a provazové žebříky. Dostupné z WWW:
<http://www.dvv.cz/houpacky-a-provazove-zebriky/drevena-houpacka-prkenkova.html>
(citováno březen 12, 2011)
- [9] Sdílené fotografie. Dostupné z WWW:
<http://www.flickr.com/photos/tigergirl/257872606/>
(citováno březen 14, 2011)
- [10] Vše pro domácnost a zahradu. Dostupné z WWW:
<http://www.domacky.cz/zahrada/zahradni-houpacky>
(citováno duben 04, 2011)
- [11] Zahradní nábytek. Dostupné z WWW:
<http://www.fifthroommarkets.com/detail-B.aspx?ID=6379>
(citováno květen 05, 2011)
- [12] Moderní nábytek. Dostupné z WWW:
http://www.spacify.com/modern_contemporary_victoria_garden_swing_by_three_birds_casual-916-557-3Bd.VGS40.html (citováno duben 08, 2011)
- [13] Zahradní technika a nábytek. Dostupné z WWW:
http://www.zahradalacina.cz/product_info.php?products_id=590
(citováno duben 09, 2011)

- [14] Zahradní centrum. Dostupné z WWW:
<http://www.zahradnictvi-chlumec.cz/katalog/houpacky/houpacka-drevena/>
(citováno květen 19, 2011)
- [15] Sbírka příkladů. Dostupné z WWW:
http://www.sbirkaprikladu.cz/sbirka_prikladu/mechanicke_kmitani_a_vlneni/
(citováno duben 04, 2011)
- [16] Hutní material. Dostupné z WWW:
<http://www.ferona.cz>
(citováno březen 25, 2011)
- [17] Koeficient bezpečnosti. Dostupné z WWW:
http://www.mitcalc.com/doc/help/cz/c_safety.htm
(citováno duben 06, 2011)
- [18] Zajíček, M., Adámek, V. Vzpěr přímých prutů. Dostupné z WWW:
<http://www.kme.zcu.cz/kmet/pp2/vzper-primych-prutu/shrnuti.pdf>
(citováno květen 03, 2011)

Software:

- [19] © Ing. Jan Dubský: STROJAŘ V-3.0 (<http://hdplot.sweb.cz/strojar3.html>)

7.PŘÍLOHY

Příloha A	Výkres sestavy: BP-KOL-01
Příloha B	Seznam položek: BP-KOL-02
Příloha C	Výrobní výkres pružiny: BP-KOL-03